Fundação Educacional do Município de Assis
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis
Campus "José Santilli Sobrinho"

**MATEUS HENRIQUE DA SILVA MANZONI**

# UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES PARA REDUÇÃO DE TURBIDEZ E MATÉRIA ORGÂNICA EM EFLUENTE DE INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

**Assis/SP**
**2019**

Fundação Educacional do Município de Assis
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis
Campus "José Santilli Sobrinho"

**MATEUS HENRIQUE DA SILVA MANZONI**

# UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES PARA REDUÇÃO DE TURBIDEZ E MATÉRIA ORGÂNICA EM EFLUENTE DE INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Química Industrial e Licenciatura em Química do Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA e a Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA, como requisito parcial à obtenção do Certificado de Conclusão.

**Orientando:** Mateus Henrique da Silva Manzoni
**Orientadora:** Drª. Patrícia Cavani Martins de Mello

**Assis/SP**
**2019**

FICHA CATOLOGRÁFICA

M296u MANZONI, Mateus Henrique da Silva

Utilização de coagulantes para redução de turbidez e matéria orgânica em efluente de indústria sucroalcooleira / Mateus Henrique da Silva Manzoni. Fundação Educacional do Município de Assis - FEMA - Assis, 2019

57p.

Orientador: Drª. Patrícia Cavani Martins de Mello

Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis - IMESA

1. Água. 2. Efluente indústria. 3. Tratamento

CDD: 628.16

Biblioteca da FEMA

# UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES PARA REDUÇÃO DE TURBIDEZ E MATÉRIA ORGÂNICA EM EFLUENTE DE INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

MATEUS HENRIQUE DA SILVA MANZONI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação em Química Industrial, avaliado pela seguinte comissão examinadora.

**Orientador:** _____

Drª Patrícia Cavani Martins de Mello

**Examinador:** _____

Me. Elaine Amorim Soares

# DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, “porque dEle
e por Ele, e para Ele, são todas as coisas
-Romanos 11.36

Aos meus pais Elaine e José Roberto por
estarem sempre ao meu lado me apoiando.

# AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ser o meu refúgio em todos os momentos e por ter me guiado até aqui, sem ele, eu nada seria. Agradeço aos meus pais, Elaine Ribeiro e José Roberto por todo apoio e incentivo para realização de mais uma conquista.

Aos meus irmãos Daniel Lucas, Hadriel Felipe e Thiago e a todos os meus familiares por estarem sempre presentes na minha vida.

À Helen Rebeca, grande amiga que fiz durante esses 4 anos de curso e a qual possui um inestimável valor. Agradeço por essa parceria mútua que formamos, pelos conselhos, por todo aprendizado que adquirimos juntos, por dividir as alegrias e também os anseios, sou eternamente grato por todo seu apoio, o qual tornou essa jornada da graduação um pouco mais fácil. Que Deus ilumine seu futuro.

À Joyce Maria, pela grande amizade, por todo apoio com suas palavras de carinho nos momentos difíceis e por sempre ser uma das primeiras a acreditar na minha capacidade.

Aos amigos, Michael Lourenço, Wesley Silva, Tainá Mantovani, Magali Momo e Natália Prado, pela amizade e por todos os momentos proporcionados.

Aos meus amigos de serviço, em especial Ronam Pádua, Jhonathan Nascimento, Caio Peruzzi, Igor Santos, Michel Mello, Rúbia Souza, Bruna Campos, Elisângela Borba, Elaine Borba e Nadieli Souza, pela amizade e por me tirarem risos até nos dias em que estive mais triste.

À todos os amigos de sala, em especial Pedro Milk, Larissa Gimenez, Lucas Milaré, Rogério Caetano, Francislene Teixeira e Beatriz Vieira, por todos os momentos e pelo companheirismo ao longo desses anos. Desejo um grande sucesso a todos vocês.

À minha orientadora, professora Drª Patrícia Cavani Martins de Mello, por ter me aceitado como seu orientando, pela empatia, por tudo conhecimento transmitido durante esse período, pelos diversos direcionamentos e por todo incentivo na realização desse trabalho.

Ao Me André Campos Colares Botelho, por toda sua co-orientação e por fornecer os materiais necessários. A professora Me. Elaine Amorim Soares por todas as dicas para aprimoração desse trabalho.

À todos que torcem pelo meu sucesso.

“E tudo quanto fizerdes, fazei-o de todo coração, como se fosse para Deus e não para homens.”

Colossenses 3:23

# RESUMO

O setor sucroalcooleiro é historicamente conhecido como hidrointensivo, fazendo uso da água das mais diferentes formas no seu processo de produção, essa larga escala de consumo gera uma grande quantidade de efluentes líquidos. Devido a simplicidade, eficiência e baixo consumo de energia, o processo de coagulação/floculação é uma das mais importantes técnicas de tratamento empregados em efluentes industriais. O uso de coagulantes naturais no processo de coagulação/floculação apresenta vantagens, pois são biodegradáveis e não-tóxicos, e ainda produzem lodo em menor quantidade e com menores teores de metais. No presente trabalho, foi realizado a aplicação de coagulantes naturais a base de taninos e coagulante químico no tratamento de efluente de indústria sucroalcooleira, com o objetivo de promover a redução de turbidez e o teor de matéria orgânica. Para verificar a eficiência dos coagulantes foram realizadas análises de turbidez, DBO e DQO antes e após o tratamento proposto. Foram utilizados Aquapol® Plus, Tanfloc® SH e Tanfloc® SG como coagulantes naturais e o Policloreto de Alumínio como coagulante químico. Os resultados de DBO demonstraram que os coagulantes foram eficientes, onde as maiores taxas de redução ocorreram para o coagulante inorgânico Policloreto de Alumínio (94,05%), seguido pelo Tanfloc® SG (88,64%), Tanfloc® SH (87,56%) e Aquapol® Plus (86,48%). Em relação a turbidez os resultados também foram satisfatórios onde a melhor taxa de redução ocorreu para o Policloreto de Alumínio (91,11%), seguido pelo Tanfloc® SH (89,17%), Tanfloc® SG (87,42%) e Aquapol® Plus (87,26%). Sendo assim os tratamentos utilizando os coagulantes propostos nesse trabalho se mostraram eficientes na redução do valor de turbidez e da matéria orgânica, pois atenderam a legislação ambiental vigente.



**Palavras-chave:** Água; Efluente indústria; Tratamento.

# ABSTRACT

The sugar-alcohol sector is historically known as hydro-intensive, making use of water of the most different forms in its production process, this large scale of consumption generates a large amount of liquid effluent. Due to simplicity, efficiency and low energy consumption, the coagulation/flocculation process is one of the most important treatment techniques used in industrial effluents. The use of natural coagulants in the coagulation/flocculation process presents advantages, since they are biodegradable and non-toxic, and still produce sludge in smaller quantities and with lower metal contents. In the present study, the application of natural coagulants based on tannins and chemical coagulant in the treatment of effluent from sugar and ethanol industry was performed, with the objective of promoting the reduction of turbidity and the content of organic matter. To verify the coagulant efficiency, turbidity, DBO and DQO analyses were performed before and after the proposed treatment. Aquapol® Plus, Tanfloc® SH and Tanfloc® SG were used as natural coagulants and Aluminium Polychloride as a chemical coagulant. The results of DBO showed that coagulants were efficient, where the highest rates of reduction occurred for the inorganic coagulant Polychloride Aluminium (94.05%), followed by the Tanfloc® SG (88.64%), Tanfloc® SH (87.56%) and Aquapol® Plus (86.48%). About turbidity the results were also satisfactory where the best rate of reduction occurred for Aluminium Polychloride (91.11%), followed by the Tanfloc® SH (89.17%), Tanfloc® SG (87.42%) and Aquapol® Plus (87.26%). Therefore, the treatments using coagulants proposed in this study were shown to be efficient in reducing the value of turbidity and organic matter, since they complied with the current environmental legislation.



**Keywords:** Water; Wastewater industry; Treatment.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES


Figura 1 - Plantação de cana-de-açúcar..... 17
Figura 2 - Fluxograma do processo de produção de açúcar e etanol..... 20
Figura 3 - Processo simplificado de coagulação de coloides via neutralização de cargas..... 23
Figura 4 - Processo simplificado de floculação de coloides desestabilizados..... 24
Figura 5 - Estrutura do coagulante Tanfloc da empresa TANAC..... 27
Figura 6 - Lagoa de despejo do efluente..... 31
Figura 7 - Fluxograma do ensaio de clarificação química..... 36

# LISTA DE TABELAS


Tabela 1- Parâmetros para lançamento de efluentes..... 22

Tabela 2- Valores limites definidos por legislações específicas para lançamento de efluentes e resultados da caracterização de efluente sucroalcooleiro..... 37

Tabela 3- Resultados dos parâmetros de qualidade do efluente antes e após os ensaios com os coagulantes..... 38

Tabela 4- Porcentagens da eficiência dos coagulantes na redução de DBO, DQO e turbidez..... 38

Tabela 5- Formas de nitrogênio e fósforo total presentes no efluente antes e após os ensaios com os coagulantes e valores limites definidos por legislações específicas para lançamento de efluentes..... 40

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| DO | Oxigênio Dissolvido |
| PAC | Policloreto de Alumínio |
| PT | Fósforo Total |
| NKT | Nitrogênio Kjeldhal Total |
| $NH_3$ | Nitrogênio Amoniacal |
| $NO_3$ | Nitrato |
| $NO_2$ | Nitrito |

SUMÁRIO

**1. INTRODUÇÃO.....15**
**2. PROCESSAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....17**
2.1. A CANA-DE-AÇÚCAR.....17
2.2. FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR.....18
**2.2.1. Moagem da cana.....18**
**2.2.2. Tratamento do Caldo.....18**
**2.2.3. Evaporação.....18**
**2.2.4. Cristalização.....19**
**2.2.5. Centrifugação.....19**
**2.2.6. Secagem.....19**
2.3. FABRICAÇÃO DE ÁLCOOL.....19
**2.3.1. Fermentação.....19**
**2.3.2. Destilação.....20**
**3. TRATAMENTO DE EFLUENTES SUCROALCOOLEIROS.....21**
3.1. CARACTERISTICAS DO EFLUENTE.....21
3.2. TRATAMENTO DE EFLUENTE.....21
3.3. LEGISLAÇÃO PARA LANÇAMENTOS DE EFLUENTES.....22
**4. PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO.....23**
4.1. COAGULANTES QUÍMICOS.....25
**4.1.1. Policloreto de Alumínio (PAC).....25**
4.2. COAGULANTES NATURAIS.....26
**4.2.1. Taninos.....26**
**5. TRATAMENTO DE ÁGUA COM COAGULANTE BIODEGRADÁVEL.....28**
5.1. A IMPORTÂNCIA DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS.....28
5.2. MATERIAIS E REAGENTES.....28
5.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....29
**6. MATERIAIS E MÉTODOS.....30**
6.1. MATERIAIS.....30
**6.1.1. Reagentes.....30**
**6.1.2. Materiais e Equipamentos.....31**

**6.1.3. Caracterização e coleta do efluente.....31**
6.2. MÉTODOS..... 32
**6.2.1. Oxigênio dissolvido, turbidez e condutividade elétrica..... 32**
**6.2.2. pH.....32**
**6.2.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio.....33**
**6.2.4. Demanda Química de Oxigênio.....33**
**6.2.5. Nitrogênio Kjeldhal Total (NKT)..... 33**
**6.2.6. Nitrogênio amoniacal ($N\text{-}NH_3$).....34**
**6.2.7. Nitrito ($NO_2$).....34**
**6.2.8. Nitrato ($NO_3$).....34**
**6.2.9. Fósforo total (PT).....35**
**6.2.5. Ensaios de clarificação química.....35**
**7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....37**
7.1. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....37
**8. CONCLUSÃO.....41**
**REFERÊNCIAS.....42**
**ANEXOS.....48**
Anexo A - Resolução CONAMA n° 430/2011..... 48

# 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância para o agronegócio brasileiro. Segundo a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), a área colhida de cana-de-açúcar destinada a produção de açúcar e álcool na safra 2015/16 foi de 8.654,2 mil hectares (CONAB, 2016). Essa larga escala de produção necessita de uma grande quantidade de usinas sucroalcooleiras para o seu processamento. O setor sucrooalcooleiro é historicamente conhecido como hidrointensivo, ou seja, faz uso intenso de água nas mais diversas atividades no seu processo industrial. No Estado de São Paulo, o setor é responsável por 12% da demanda total de água (ANA, 2009). A água é um fator importante para a atuação de uma unidade industrial, dado que a falta desse recurso pode ocasionar perda de lucratividade, dificuldade operacional, e até levar á um declínio de produção (MARQUES; ZIN, 2016). Esse setor utiliza a água de diversas formas no seu processo de produção de açúcar e etanol, tais como: lavagem de cana, incorporação de produtos, limpeza de equipamentos e tubulações, alimentação de caldeiras, sistemas de resfriamentos, dentre outros. Após a utilização essa água é descartada gerando um volume de águas residuárias (PIACENTE, 2005).

As águas residuárias de uma indústria sucroalcooleira, são formadas pela soma dos efluentes decorrentes de diferentes partes do processo, como os de lavagem de pisos e equipamentos, torres de resfriamento, sobras de águas condensadas e compostos de purgas. Pode ter ainda em seu volume final subprodutos provenientes do processo, como por exemplo a vinhaça (MARQUES; ZIN, 2016).

Inúmeros processos de tratamento e/ou aproveitamento de resíduos orgânicos podem ser utilizados para minimizar os impactos ambientais de um efluente, tendo destaque maior os processos biológicos. Também são utilizados alguns processos físicos e químicos, podendo destacar a sedimentação, flotação, filtração, coagulação, entre outros (CARDOSO, 2005). Entre os métodos disponíveis de tratamento de águas e efluentes, a coagulação e floculação é considerado de baixo custo, simples, confiável e de baixo consumo de energia (OLADOJA, 2015). A sua aplicação inclui a remoção de espécies químicas dissolvidas e turbidez da água através da adição de coagulante à base de

substâncias químicas convencionais, tais como cloreto férrico ($FeCl_3$) e cloreto de polialumínio (PAC) (YIN, 2010).

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o efluente de uma usina sucroalcooleira, localizada na cidade de Tarumã (SP) e aplicar coagulantes naturais e químico para promover a redução da turbidez e o teor de matéria orgânica, diminuindo a sua carga poluidora.

# 2. PROCESSAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR

## 2.1. A CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar (Figura 1) é uma planta gramínea, semi-perene, pertencente à família *Poaceae*, do gênero *Saccharum*, originária do sudeste da Ásia, que foi introduzida no Brasil pelos colonizadores portugueses. Destaca-se entre as gramíneas tropicais como a planta de maior potencial de produção de matéria seca e energia por unidade de área. A cultura possui múltipla utilização e grande importância econômica no país, principalmente na produção de açúcar e etanol, por substituir, em grande escala, o combustível derivado do petróleo (KLEIN, 2010).

**Figura 1:** Plantação de cana-de-açúcar (In: COSTA, 2018)

No Brasil, a cana-de-açúcar ocupa a terceira posição de cultura temporária em termos de área plantada (NOVACANA, 2019). Segundo a CONAB, na safra 2018/19 houve uma redução 1,6% da área colhida em relação a safra anterior, visto que a área total de cana de açúcar colhida nesse período foi de 8.589,2 mil hectares. Da produção nacional, o estado de São Paulo é o responsável pela maior produtividade, alcançando 332,9 milhões de toneladas na safra 2018/19 (CONAB, 2019).

## 2.2. FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR

### 2.2.1. Moagem da cana

Antes da moagem, a cana é lavada nas mesas alimentadoras para a retirada de terra proveniente da lavoura. Após a lavagem, a cana passa por picadores que trituram os colmos, preparando-a para a moagem. Nesse processo as células da cana são abertas sem perda do caldo. Após o preparo, a cana desfibrada é enviada à moenda para extração do caldo. Na moenda, a cana desfibrada é exposta entre rolos submetidos a uma pressão de aproximadamente 250 kg/cm², expulsando o caldo do interior das células. Este processo é repetido por seis vezes e o caldo extraído vai para o processo de tratamento do caldo e o bagaço para as caldeiras (JÚNIOR, 2012).

### 2.2.2. Tratamento do Caldo

O caldo resultante da extração (essencialmente o da primeira prensagem) é peneirado para a retirada de impurezas grossas, sulfitado com $SO_2$ para auxiliar na coagulação das matérias coloidais, na formação de precipitados que farão o arraste das impurezas durante a sedimentação e na desinfecção do caldo; e finalmente caleado com leite de cal, para também coagular parte do material coloidal, precipitar as impureza e elevar o pH para valores neutros (MACHADO, 2012).

### 2.2.3. Evaporação

Essa etapa constitui o primeiro estágio de concentração do caldo tratado. O caldo tratado contém cerca de 85% de água, que é então, evaporada até que se atinja 40% em água, tornando-se um xarope grosso e amarelado (MACHADO, 2012).

### 2.2.4. Cristalização

O xarope produzido pela etapa de evaporação passa por um processo de cozimento, feito em cristalizadores, que na verdade são evaporadores de simples efeito. Nesta etapa, que é realizada em batelada, o xarope é concentrado sob vácuo, até atingir certo grau de supersaturação, formando a massa cozida (MACHADO, 2012).

### 2.2.5. Centrifugação

Nesse processo ocorre a centrifugação da massa cozida (mistura de licor-mãe com cristais de açúcar), esse processo é realizado por um sistema de centrifugação através de turbinas centrífugas (MACHADO, 2012, adaptado).

### 2.2.6. Secagem

O processo de secagem consiste basicamente das etapas de evaporação e resfriamento, e a temperatura em que o açúcar sai dos secadores deve ser mantida na faixa de 30°C a 40°C para que não ocorra amarelamento e empedramento do açúcar no período de estocagem (CASTRO; ANDRADE, 2006).

## 2.3. FABRICAÇÃO DE ÁLCOOL

### 2.3.1. Fermentação

O caldo tratado segue posteriormente para a fermentação, cujo processo geralmente adotado é o Melle–Boinot. A fermentação é realizada em dornas, onde o caldo é inoculado com leite de leveduras, constituído por uma suspensão aquosa em meio ácido do micro-organismo *Saccharomyces sp.* A ação das leveduras propicia a fermentação

através da inversão da sacarose, seguida da conversão do açúcar invertido em álcool etílico e dióxido de carbono. O período de permanência do caldo nas dornas se estende de 8 a 10 horas. Da fermentação do caldo resulta um líquido chamado vinho. O vinho é então submetido à centrifugação visando a recuperação do creme de levedura, que é encaminhado ao pé de cuba (pequena dorna) onde, após tratamento adequado, retorna às dornas de fermentação, dando continuidade ao processo (PAOLIELLO, 2006).

### 2.3.2. Destilação

Nesse processo, o vinho obtido na fermentação é colocado em colunas de destilação, nas quais ele é aquecido até se evaporar. Na evaporação, seguida de condensação, é separado o vinho do etanol. Com isso, produz-se o álcool hidratado, usado como etanol combustível (NUNES, 2017). Na destilação do vinho resulta-se também um subproduto importante, a vinhaça. A vinhaça ou vinhoto, é rica em água, matéria orgânica, nitrogênio, potássio e fósforo, é utilizada na lavoura para irrigação da cana, na chamada fertirrigação (JÚNIOR, 2012). Para obtenção do álcool anidro, submete-se o álcool hidratado ao processo de desidratação com emprego de arrastadores (ciclo hexano) em peneira molecular. Desta operação resulta como subproduto o óleo fúsel (PAOLIELLO, 2006). A figura 2 representa resumidamente o processo de produção de açúcar e etanol.

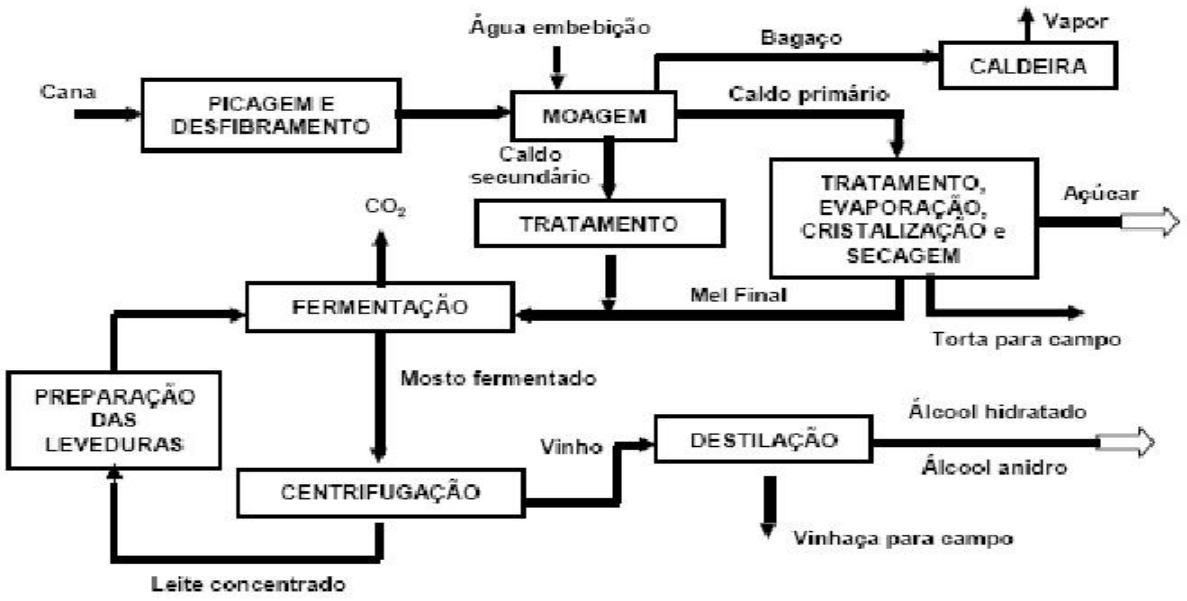


**Figura 2:** Fluxograma do processo de produção de açúcar e etanol (In; MAGALHÃES, 2007)

# 3. TRATAMENTO DE EFLUENTES SUCROALCOOLEIROS

## 3.1. CARACTERISTICAS DO EFLUENTE

As águas residuárias da indústria canavieira são formadas pela soma de diversos efluentes industriais que são originados da limpeza de equipamentos de processo como os evaporadores de caldo de cana-de-açúcar, cozedores de massas, resinas catiônicas e aniônicas oriundas das estações de tratamento de água para as caldeiras, compostos por purgas de circuitos de resfriamento em condensadores, purgas do sistema de retentores chamados de lavadores de gases, que eliminam parcialmente os materiais particulados dos gases da chaminé das caldeiras, sobra de águas condensadas, flegmaça e lavagem de pisos (PIACENTE, 2005).

A vinhaça é um outro efluente que também é gerado nas usinas de açúcar e álcool, produzidas durante o processo de destilação. Possui em sua composição em média 93% de fase líquida e 7% de sólidos em suspensão (orgânicos e minerais), alto teor de potássio e nitrogênio total, além de cálcio, magnésio, fósforo e enxofre em concentrações menores. A cor marrom escura apresentada pela vinhaça é devida, principalmente, a um pigmento castanho escuro, denominado melanoidina, bem como pela presença de compostos fenólicos, açúcares e melanina. Outra característica da vinhaça é conter compostos altamente recalcitrantes, que devido às suas propriedades antioxidantes causam toxicidade a muitos micro-organismos envolvidos nos processos convencionais de tratamento biológico de efluentes (SEIXAS; GIMENEZ; MACHADO, 2016).

## 3.2. TRATAMENTO DE EFLUENTE

A recuperação e tratamento dos despejos industriais das usinas e destilarias de cana de açúcar são basicamente compostos por controles internos, ou seja, controle preventivo e os controles externos, que significam o tratamento dos efluentes. Esses tratamentos se resumem em: tratamento da água de lavagem da cana por decantação; o tratamento da água do lavador de gases das chaminés por decantação-flotação; os diversos resfriamentos, em torres de arrefecimento ou tanques aspersores; o efluente de lavagem

de piso e equipamentos tratados em caixas de areia e gordura. Além destes tratamentos as águas residuárias também podem ser aplicadas na própria lavoura de cana juntamente com a vinhaça, num processo conhecido como fertirrigação (CRUZ et al., 2016).

## 3.3. LEGISLAÇÃO PARA LANÇAMENTOS DE EFLUENTES

O Decreto Estadual 8.468/76 estabelece as condições de lançamento de efluentes de qualquer natureza no estado de São Paulo, esse decreto aplica-se tanto para lançamentos diretos, quanto para lançamentos indiretos. Para lançamento direto no corpo receptor também são adotados os parâmetros da Resolução 430/2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Os parâmetros adotados por essas legislações para o lançamento de efluentes estão apresentados na tabela 1.

| Parâmetros | Decreto SP 8468/1976 | CONAMA 430/2011 |
|---|---|---|
| **pH** | 5 – 9 | 5 - 9 |
| **Temperatura (ºC)** | < 40 | < 40 |
| **$DBO_5^{20^\circ}$ ($mgO_2.L^{-1}$)** | 60 | Remoção mínima de 60% |
| **Turbidez (NTU)** | - | - |
| **DQO ($mgO_2.L^{-1}$)** | - | - |

**Tabela 1:** Parâmetros para lançamento de efluentes

As demais condições e parâmetros para o lançamento de efluentes apresentados na Resolução CONAMA 430/2011 estão dispostos no anexo A.

# 4. PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Devido a simplicidade, eficiência e baixo consumo de energia, o processo de coagulação/floculação é considerado uma das mais importantes formas de tratamento de efluentes industriais, sendo amplamente utilizada na indústria nas últimas décadas (OLADOJA, 2015). O principal objetivo dessas técnicas é a redução de turbidez das águas residuais, que são ocasionadas principalmente pela presença de partículas suspensas, chamadas coloides, cujo tamanho varia entre 0,01 e 100 µm. assim como remover cor, cistos e oocistos, bactérias, matéria biológica, vírus e muitas outras substâncias orgânicas de origem natural e industrial (AL-ASHEH; AIDAN, 2017).

No processo de coagulação (Figura 3) o reagente inorgânico, orgânico ou composto é misturado completamente em grande velocidade ao líquido e são formadas várias partículas com cargas positivas que adsorvem os coloides carregados negativamente, através de um processo de neutralização de cargas, que ocorre em baixas dosagens de coagulantes e em fração de segundos (OLADOJA, 2015).

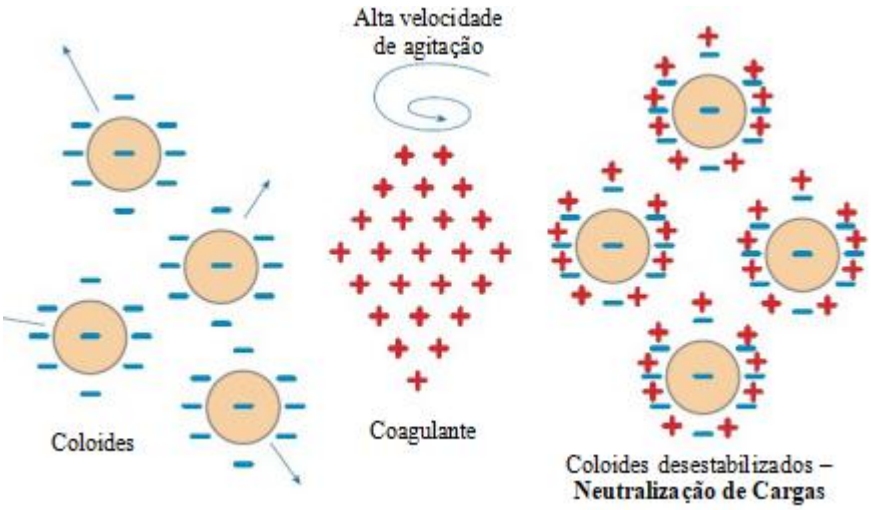


**Figura 3:** Processo simplificado de coagulação de coloides via neutralização de cargas (In: Drinking Water Quality Regulator for Scotland, 2015).

Após a adição do agente coagulante, a desestabilização pode ser obtida por um ou mais dos seguintes mecanismos: compressão da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização de carga, adsorção e ponte interpartícula (WANG; SHUI; LIU, 2017). Entre

muitos fatores, o tipo de coagulante, a sua dosagem, o pH do efluente, a mistura, a temperatura e o tempo de retenção podem influenciar o processo de coagulação (LEE et al., 2012).

No processo de floculação (figura 4), as partículas desestabilizadas na coagulação são ligadas por ligação de hidrogênio ou forças de Van der Waals para formar os flocos, que ocorre em um período de 10 a 45 minutos (TWORT; RATNAYAKA; BRANDT, 2000). Ela é geralmente obtida por um processo contínuo, mais lento que a coagulação, para que possa ocorrer uma mistura suave do floco com o líquido do meio (ZHANG et al., 2013). Na floculação, os mesmos fatores que alteram a coagulação podem também afetá-la. Outra característica importante é a qualidade do efluente que interfere diretamente nesta fase do tratamento (SARITHA; SRINIVAS; VUPPALA, 2015).

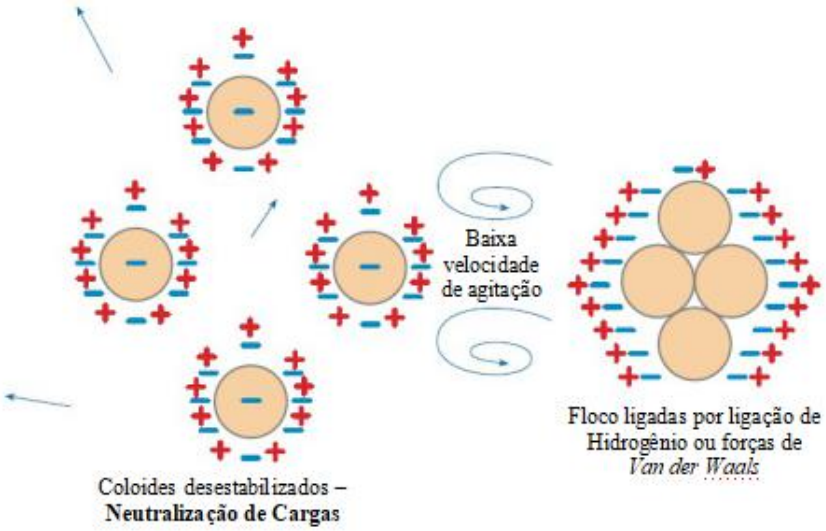


**Figura 4:** Processo simplificado de floculação de coloides desestabilizados (In: Drinking Water Quality Regulator for Scotland, 2015).

A sedimentação é a última fase do processo de coagulação e floculação, nela ocorre a interrupção total dos movimentos e é onde irá ocorrer a separação sólido-líquido pela ação simples da força da gravidade. Quanto mais prolongada for esta fase, melhor será a retirada dos agentes contaminantes (AL-ASHEH; AIDAN, 2017).

## 4.1. COAGULANTES QUÍMICOS

Coagulantes químicos a base de metais (sais de alumínio e ferro) são coagulantes comumente utilizados em operações de tratamento de água e efluente até o aparecimento do polímero sintético. Uma visão geral dos mecanismos de funcionamento destes coagulantes mostrou que os sais hidrolisam rapidamente até formarem várias espécies catiônicas, que são adsorvidas pelas partículas carregadas negativamente causando a neutralização de carga. Esta reação é essencial para a desestabilização das partículas, como as bactérias, vírus e partículas inorgânicas (MATSUI et al.,2003).

A principal vantagem do uso desses coagulantes é o seu baixo custo, com preço de mercado muito menor em comparação com outros materiais sintéticos (LEE, ROBINSON; CHONG, 2014). Por outro lado, o uso desses coagulantes pode causar importantes efeitos ambientais, como a produção de grandes volumes de lodo, gerando problemas de disposição, além do aumento na concentração do metal na água tratada. Estudos epidemiológicos e neuropatológicos recentes sugerem uma possível ligação entre a neurotoxicidade do alumínio e da patogênese da doença de Alzheimer (WARD; MCCROHAN; WHITE, 2006).

### 4.1.1. Policloreto de Alumínio (PAC)

O policloreto de alumínio ou simplesmente PAC é um sal de alumínio pré-polimerizado e básico de fórmula bruta $Al_n(OH)_nCl_{3n-m}$. Em função dessa basicidade, durante a hidrólise libera igual dosagem de íons metálicos e uma quantidade de ácido consideravelmente menor que dos outros coagulantes tradicionais, provocando uma menor variação no pH do meio tratado ou um menor consumo de neutralizante para reconduzir o pH ao seu valor original (RODRIGUES, 2013).

Nos processos de coagulação e floculação, o PAC apresenta vantagens nas taxas de coagulação, visto que é mais eficiente em comparação com outros reagentes inorgânicos por formarem flocos mais rapidamente, em tamanhos maiores e uniformes, resultando em

uma sedimentação mais rápida com o uso de um volume menor de reagente em relação ao sulfato de alumínio (ZHANG et al*.,* 2013).

## 4.2. COAGULANTES NATURAIS

Os coagulantes naturais são compostos orgânicos e inorgânicos que possuem o mecanismo de coagulação semelhante ao mecanismo de coagulação/floculação dos polieletrólitos. Uma vez que são polímeros naturais constituídos de grandes cadeias carbônicas ou silicônicas, dotados de sítios com pontos positivos ou negativos, podem na presença de água, se transformar em coagulantes catiônicos ou aniônicos, dependendo do saldo das cargas elétricas, se positivo ou negativo. Exemplos destes coagulantes são: a quitosana, moringa, tanino vegetal entre outros (GIRARDI, 2009).

O uso de coagulantes naturais apresenta vantagens em relação aos coagulantes químicos por serem biodegradáveis e não-tóxicos, e ainda produzirem lodo em menor quantidade e com menores teores de metais (KAWAMURA, 1991).

### 4.2.1. Taninos

Os taninos são definidos como moléculas fenólicas biodegradáveis com capacidade de formar complexos com proteínas e outras macromoléculas e minerais. São extraídos de cascas de vegetais, como a acácia negra, que possui altas concentrações de tanino e é facilmente encontrada no Brasil (BELTRÁN-HEREDIA; SÁNCHES-MARTÍN; MARTÍN-SÁNCHES, 2011).

Segundo Da Silva (1999), os taninos são moléculas com propriedades coagulantes, que desestabilizam os coloides com a eliminação da camada de solvatação, diminuindo o potencial zeta durante o processo de coagulação e, assim, permitindo a formação de flocos. Desta forma, podem ser utilizados no tratamento de águas residuais e de abastecimento no processo de coagulação e floculação. O tanino é um coagulante vegetal, efetivo em uma ampla faixa de pH, elimina o uso de alcalinizantes (como soda ou cal), não acrescenta metais ao processo e proporciona uma redução no volume de lodo a ser

descartado. Ainda, devido a sua composição orgânica pode ser biologicamente degradado ou eliminado termicamente (TANAC, 2003). Outra característica dos taninos é a sua capacidade de adsorver metais dissolvidos em água que, ao se aglutinarem, precipitam podendo ser removidos (PELEGRINO, 2011).

Comercialmente o tanino vegetal é encontrado sob o nome de Tanfloc®, que é um polímero orgânico catiônico de baixa massa molar, à base de taninos naturais extraídos da casca da acácia negra (GIRARDI, 2009). A figura 5 apresenta a estrutura do coagulante Tanfloc da empresa TANAC.

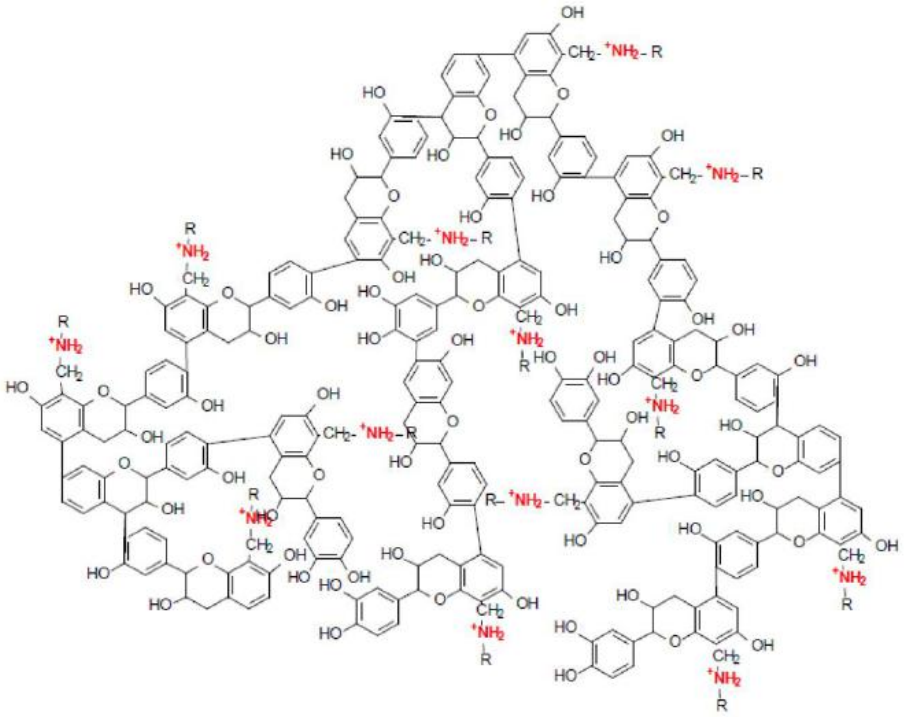

**Figura 5:** Estrutura do coagulante Tanfloc da empresa TANAC (In: Mangrich et al. 2014).

Estudos da aplicação do coagulante vegetal a base de tanino no tratamento do efluente de lavanderia industrial, removeu os sólidos suspensos e uma fração considerável de carga orgânica e de surfactantes (Cruz et al., 2005). Segundo estudos realizados por Matos (2005), o tratamento de um efluente de abatedouro de aves utilizando o tanino vegetal, Tanfloc®, mostrou-se eficaz na remoção de turbidez, na formação de flocos e na clarificação deste efluente.

# 5. TRATAMENTO DE ÁGUA COM COAGULANTE BIODEGRADÁVEL

## 5.1. A IMPORTÂNCIA DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

É de suma necessidade o ensino de química conter atividades experimentais, pois auxiliam os alunos na compreensão dos fenômenos químicos. Sendo assim, por fazer parte essencial do ensino de química, cabe ao professor desenvolver essas atividades e aplicá-las adequadamente, com o intuito de auxiliar o aprendizado dos alunos por meio estabelecido de teoria e pratica, inerentes ao processo do conhecimento escolar das ciências e da química. A escolha de cada atividade experimental depende dos objetivos específicos a serem alcançados, das competências que se quer desenvolver e dos recursos disponíveis. Essas atividades devem permitir o exercício da observação e da formulação de indagações (SALVADEGO; LABURÚ, 2009).

O uso de coagulantes naturais no tratamento de águas residuais apresenta muitas vantagens em relação aos agentes químicos, principalmente devido a sua biodegradabilidade, baixa toxicidade e o baixo custo (MATOS, 2004).

Esse experimento consiste em realizar ensaios com ácido tânico como agente coagulante natural no processo de coagulação/floculação, abordando conceitos de Química tais como: coagulação/floculação, adsorção, processos de separação de misturas e soluções.

## 5.2. MATERIAIS E REAGENTES

Para a realização desse experimentos serão necessários os seguintes materiais e reagentes:

- 2 béqueres de 200 mL;
- 1 funil de plástico;
- 2 filtros de papel;
- Pipeta 1 mL;
- 1 béquer de 50 mL;

- Garra em forma de argola;
- Suporte universal;
- Solução aquosa de $Ca(OH)_2$ (0,02 mol $L^{-1}$);
- Solução aquosa de ácido tânico (20 g $L^{-1}$);
- Carvão ativado;
- Areia seca;
- Algodão;
- Água.

## 5.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para realização do experimento, siga os seguintes procedimentos:

- Misturar aproximadamente 1g de terra em 100 mL de água; filtrar a água suja com o filtro de papel; adicionar ao filtrado 1 mL da solução de ácido tânico e 10 mL de solução de $Ca(OH)_2$; agitar brandamente e deixar em repouso, observando o sistema;
- Após 10 minutos, filtrar o conteúdo em um funil que deverá ser construido da seguinte forma: na parte cilindrica do funil, preencher com algodão bem amassado; sobre o algodão, adicionar pequenos pedregulhos; sobre os pedregulhos, adicionar uma camada (aproximadamente 2 cm) de areia seca; sobre areia adicionar o filtro de papel com 2 g de carvão ativado;
- Adicionar ao funil a água que está sendo tratada; agitar brandamente e aguardar filtração total da amostra.
- Comparar a água tratada com a inicial.

# 6. MATERIAIS E MÉTODOS

## 6.1. MATERIAIS

### 6.1.1. Reagentes

- N-Aliltiouréia;
- NaOH em pastilhas;
- Solução de ácido sulfúrico + sulfato de prata;
- Solução de dicromato de potássio + sulfato de mercúrio;
- Policloreto de alumínio (PAC)
- Tartarato sódio e potássio
- Solução de NaOH + NaCl
- Solução de fenato
- Hipoclorito de sódio 20%
- Nitroprussiato de sódio
- Solução de ácidos
- Mistura combinada
- Solução NaOH 6M
- Solução sulfanilamida
- Solução N-(naftil)etilenodiamina
- Solução de fenoldissulfônico
- Solução NaOH 50%
- Aquapol® Plus
- Tanfloc® SH
- Tanfloc® SG

### 6.1.2. Materiais e Equipamentos

- Medidor multi parâmetro YSI PRO PLUS;
- Incubadora com temperatura controlada de 20° C MOD. 347 CDG
- Medidores Oxitop;
- Bloco digestor TECNAL TE-021;
- Espectrofotômetro NOVA 1800UV;
- Chapa aquecedora PROGÁS
- pHmetro TECNAL TEC-7;
- Tubos de DQO;
- Balões volumétricos;
- Pipetas graduadas;

### 6.1.3. Caracterização e coleta do efluente

As amostras utilizadas para a caracterização do efluente e nos ensaios de coagulação/floculação foram coletadas em uma lagoa de despejo (figura 6) situada em uma usina sucroalcooleira na cidade de Tarumã, região centro-oeste do estado de São Paulo.

**Figura 6:** Lagoa de despejo do efluente

Aproximadamente 15L de amostra foi coletada em uma bombona, levada ao laboratório e deixada em repouso por 30 minutos para decantação do material grosseiro suspenso.

Posteriormente 2L do efluente decantado foi transferido para frascos de polietileno sem preservação, para caracterização do efluente bruto e 500mL foi transferido para frasco de polietileno com preservação em $H_2SO_4$ 1:1 (2mL).

O restante do efluente foi utilizado nos ensaios de clarificação química e posteriormente descartado.

Tanto o efluente decantado quanto o clarificado foram submetidos às mesmas análises de caracterização, descritas na sequência.

## 6.2. MÉTODOS

### 6.2.1. Oxigênio dissolvido, turbidez e condutividade elétrica

As medições desses parâmetros foram realizadas com auxílio de um medidor multi parâmetro de qualidade de água YSI PRO PLUS, onde submergiu completamente os sensores em uma amostra do efluente.

Aguardou-se estabilização das leituras, em seguida mexeu-se o medidor para ultrapassar a dependência do movimento rotativo do sensor do oxigênio dissolvido.

Após estabilização da leitura, anotou-se os valores observados no visor.

### 6.2.2. pH

Calibrou-se o pHmetro com os tampões de pH 4,0 e pH 7,0. Após, lavou-se o eletrodo e inseriu-o na amostra contida em um béquer. O resultado foi obtido diretamente pela leitura do pH pelo eletrodo.

### 6.2.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio

Foram separados 1000 mL da amostra em um béquer, corrigindo seu pH entre 6,8 e 7,2 utilizando NaOH 0,1 M ou HCl 0,1 M.

Foram realizadas diluições de 0-2000 para o efluente bruto e 0-200 para efluente tratado, onde foram medidos os volumes de 22,5 mL e 250 mL da amostra, respectivamente.

Estes volumes foram transferidos para as garrafas de DBO, adicionados de inibidor N-aliltiouréia, na dosagem de 20 gotas por 1000 mL e um bastão magnético.

Foi inserido NaOH em pastilhas no suporte emborrachado, o qual foi tampado com o Oxitop. As garrafas foram levadas à incubadora, o Oxitop foi zerado e o conjunto deixado em rotação, por 5 dias a 20°C e na ausência de luz (APHA, 2012).

### 6.2.4. Demanda Química de Oxigênio

Para determinação da DQO, foram adicionados aos tubos de DQO 1,5 mL da solução de digestão (dicromato de potássio + sulfato de mercúrio), seguidos de 3,5 mL da solução de ácido sulfúrico + sulfato de prata e 2,0 mL da amostra anteriormente diluída nas proporções de 1:200 para o efluente bruto e 1:50 para o efluente tratado. O branco foi realizado com água deionizada.

Os tubos foram tampados e homogeneizados cuidadosamente e levados ao digestor por 120 minutos, à uma temperatura de 150°C. Ao fim da digestão, resfriou-se os tubos e procedeu leitura em espectrofotômetro ajustado em absorbância com comprimento de onda de 620 nm (APHA, 2012).

### 6.2.5. Nitrogênio Kjeldhal Total (NKT)

Pipetou-se 10 mL das bases NKT/PT previamente preparadas e transferiu-se para balões volumétricos de 100 mL, adicionou-se 40 mL de água destilada, seguidos de 2 gotas de tartarato de sódio e potássio, 1 mL da solução NaOH + NaCl, 3 mL de solução fenato, 1

de mL hipoclorito de sódio 20% e 0,5 mL de nitroprussiato de sódio, completou-se o volume e aguardou-se 45 minutos.

Após o período de repouso, procedeu-se leitura em espectrofotômetro ajustado em absorbância com comprimento de onda de 660 nm (APHA, 2012).

### 6.2.6. Nitrogênio amoniacal ($N\text{-}NH_3$)

Pipetou-se 50 mL das amostras e transferiu-se para balões volumétricos de 100 mL, adicionou-se 2 a 3 gotas de tartarato sódio e potássio, 1 mL de NaOH 6M, 3 mL de fenato, 1 mL de hipoclorito de sódio 20% e 0,5 mL de Nitroprussiato sódio, completou-se o volume e aguardou-se 45 minutos.

Após o período de repouso, procedeu-se leitura em espectrofotômetro ajustado em absorbância com comprimento de onda de 660 nm (APHA,2012).

### 6.2.7. Nitrito ($NO_2$)

Transferiu-se 50 mL das amostras para tubos de ensaios grandes e adicionou-se 1 mL da solução de sulfanilamida, agitou-se e deixou-se em repouso por 5 minutos. Após adicionou-se 1 mL de solução N-(1-naftil) etilenodiamina, agitou-se e aguardou-se 10 minutos. Após o período de repouso, procedeu-se leitura em espectrofotômetro ajustado em absorbância com comprimento de onda de 543 nm (APHA, 2012).

### 6.2.8. Nitrato ($NO_3$)

Transferiu-se 50 mL das amostras para erlenmeyers de 150 mL e levou-se para chapa aquecedora até a secagem completa, adicionou-se 1 mL da solução de ácido fenoldissulfônico e misturou-se com o auxilio de um bastão de vidro. Após, lavou-se com 10 mL de água destilada e adicionou-se 3 a 5 mL de hidróxido de sódio 50% sob agitação,

até a obtenção de uma coloração amarela estável. Transferiu-se quantitativamente todas as amostras para balões volumétricos de 50 mL e completou-se o volume com água destilada, homogeneizou-se e aguardou-se 15 minutos. Após o período de repouso, procedeu-se leitura em espectrofotômetro ajustado em absorbância com comprimento de onda de 410 nm (APHA, 2012).

### 6.2.9. Fósforo total (PT)

Pipetou-se 25 mL das bases NKT/PT previamente preparadas e transferiu-se para balões volumétricos de 50 mL, adicionou-se 2 gotas de fenolftaleína, solução NaOH + NaCl até a coloração rosa e solução ácida até voltar a incolor e 5 mL de mistura combinada, completou-se o volume e aguardou-se 15 minutos. Após o período de repouso, procedeu-se leitura em espectrofotômetro ajustado em absorbância com comprimento de onda de 660 nm (APHA, 2012).

### 6.2.5. Ensaios de clarificação química

Os ensaios de clarificação química foram realizados de acordo com a metodologia descrita por BOTELHO (2019), onde 1L do efluente decantado foi transferido por sifonação para 5 béqueres plástico de 2L.

Iniciada a agitação rápida, adicionou-se 1mL de coagulante, sendo que utilizou-se os coagulantes naturais à base de tanino: Aquapol® Plus, Tanfloc® SH e Tanfloc® SG; utilizou-se o policloreto de alumínio (PAC) como coagulante inorgânico, separadamente e simultaneamente, em cada béquer. Após 2 minutos, reduziu-se à velocidade do agitador, por 10 minutos. Passados estes, decantou-se os mesmos no próprio béquer por 15 minutos.

Ao fim do tempo de decantação, o sobrenadante foi coletado e analisado quanto aos parâmetros de qualidade já descritos.

Um fluxograma resumido do ensaio de clarificação química está apresentado na figura 7.

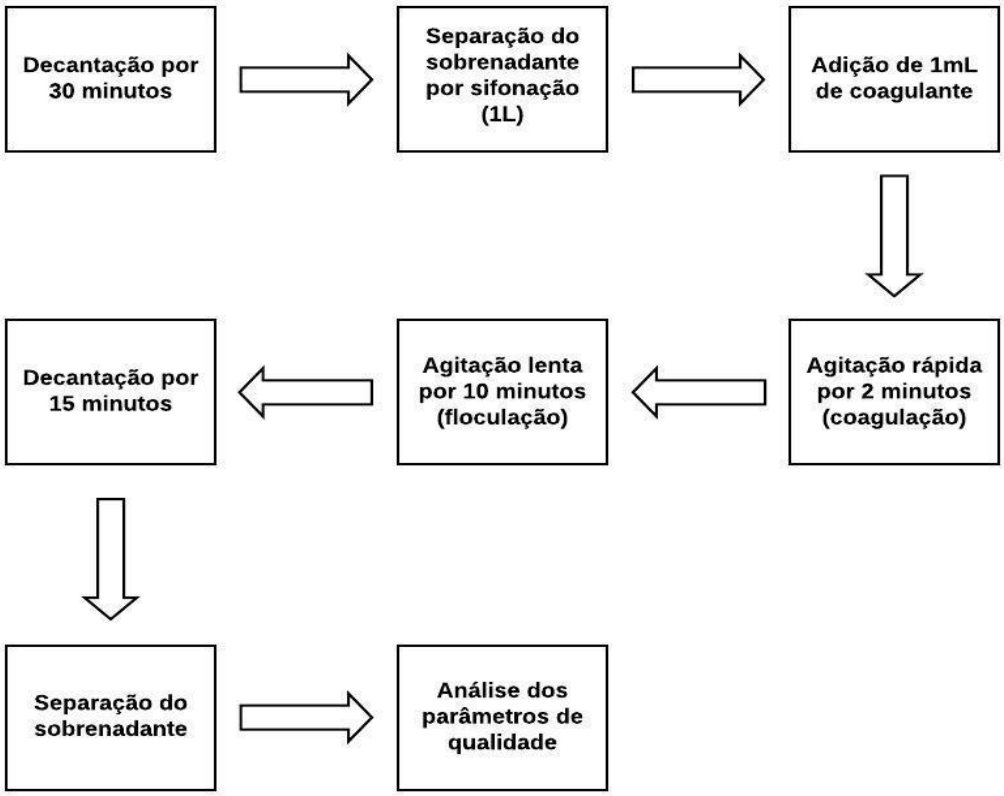


**Figura 7:** Fluxograma do ensaio de clarificação química

# 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 7.1. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Na tabela 2 estão apresentados os resultados da caracterização do efluente sucroalcooleiro realizados em laboratório, estão apresentados também os valores limites para lançamento de efluentes em corpos d'água segundo o Decreto Estadual 8468/76.

| Parâmetros | Decreto SP 8468/76 | Caracterização do efluente sucroalcooleiro |
|---|---|---|
| **pH** | 5 – 9 | 4,56 |
| **Condutividade (µS/cm)** | - | 1640 |
| **Turbidez (NTU)** | - | 314 |
| **DO (mg/L)** | - | 3,86 |
| **$DBO_5^{20°}$ ($mgO_2.L^{-1}$)** | 60 | 1850 |
| **DQO ($mgO_2.L^{-1}$)** | - | 30.266 |

**Tabela 2:** Valores limites definidos por legislações específicas para lançamento de efluentes e resultados da caracterização de efluente sucroalcooleiro.

Observou-se que o valor de pH encontrado na caracterização do efluente está abaixo do estabelecido pelo Decreto Estadual 8468/76, visto que o valor mínimo é de 5,0.

Com relação a DBO, o valor encontrado está muito acima do estabelecido. Pode-se observar também elevados valores de turbidez e DQO, os quais demonstram a presença de grande quantidade de matéria orgânica no efluente sucroalcooleiro.

Nas tabela 3 estão apresentados os resultados dos parâmetros de qualidade do efluente antes e após os ensaios de clarificação química.

| Parâmetros | Decreto SP 8468/76 | Bruto | PAC | Tanfloc SG | Tanfloc SH | Acquapol Plus |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **pH** | 5 – 9 | 4,56 | 4,45 | 4,54 | 4,53 | 4,53 |
| **Turbidez (NTU)** | - | 314 | 27,9 | 39,5 | 34,0 | 40,0 |
| **Condutividade (µS/cm)** | - | 1640 | 2103 | 1813 | 1772 | 1859 |
| **$DBO_5^{20^o}$ ($mgO_2.L^{-1}$)** | 60 | 1850 | 110 | 210 | 230 | 250 |
| **DQO ($mgO_2.L^{-1}$)** | - | 30.266 | 14.900 | 9.733 | 12.233 | 11.400 |

**Tabela 3:** Resultados dos parâmetros de qualidade do efluente antes e após os ensaios com os coagulantes

Na tabela 4 estão apresentados as eficiências dos coagulantes na redução de DBO, DQO e turbidez.

| Parâmetros | PAC | Tanfloc SG | Tanfloc SH | Acquapol Plus |
|---|---|---|---|---|
| **DBO** | 94,05% | 88,64% | 87,56% | 86,48% |
| **DQO** | 50,76% | 67,84% | 59,58% | 62,33% |
| **Turbidez** | 91,11% | 87,42% | 89,17% | 87,26% |

**Tabela 4:** Porcentagens da eficiência dos coagulantes na redução de DBO, DQO e turbidez

Os resultados obtidos de DBO, DQO e turbidez após os ensaios de clarificação química com os coagulantes, mostram que todos os coagulantes foram eficientes na redução da carga orgânica presente no efluente.

Pode-se observar que o pH das amostras do efluente tratado com os coagulantes a base de taninos sofreu pouca influência em comparação com o efluente bruto, sendo assim necessário a correção desse parâmetro no intervalo de 5 a 9, para que o efluente tratado se enquadre ao Decreto Estadual 8468/76.

Segundo Lima Júnior e Abreu (2018), uma das principais vantagens do uso dos coagulantes a base de taninos, é que não alteram o pH da água tratada por não consumirem a alcalinidade do meio e ao mesmo tempo são efetivos numa ampla faixa de pH (4,5 a 8,0).

Analisando os resultados, pode-se observar que o coagulante inorgânico PAC foi o mais eficiente na redução da DBO (94,05%), já em relação aos coagulantes a base de taninos, pode-se observar que também houve uma eficiência significativa na redução da DBO, onde a eficiência de ambos foram próximas, sendo que a melhor redução ocorreu para o Tanfloc® SG (88,64%),seguido do Tanfloc® SH (87,56%) e Aquapol® Plus (86,48%).

Estudos de BOTELHO (2019), mostram que a utilização desses coagulantes no tratamento de efluente de manipueira também se mostrou eficaz na redução da DBO, onde foi observado maior valor de redução para o coagulante inorgânico PAC (91%) e menor para o Acquapol® Plus (70%).

Apesar da eficiência dos coagulantes inorgânicos já serem reconhecidas, existem no entanto, desvantagens associadas ao seu uso, tais como: ineficácia em baixa temperatura, custos de aquisição relativamente altos, produção de grandes volumes de lodo e o fato de que eles afetam significativamente o pH da água tratada, além de fortes evidências que ligam os coagulantes à base de alumínio ao desenvolvimento de doenças neurológicas (YIN, 2010).

Com relação a turbidez, o tratamento do efluente com todos os coagulantes se mostraram eficientes, visto que o coagulante PAC obteve a maior redução (91,11%). seguido pelo Tanfloc® SH (89,17%), Tanfloc® SG (87,42%) e Aquapol® Plus (87,26%). Em comparação com os resultados de BOTELHO (2019), o coagulante inorgânico PAC também se mostrou o mais eficiente na redução do valor (98%) e o Tanfloc® SH mostrou-se com menor poder de redução (84%).

Nos resultados de DQO, também houve uma significativa redução do valor, sendo o Tanfloc® SG o mais eficiente na redução (67,84%), seguido pelo Aquapol® Plus (62,33%), Tanfloc® SH (59,58%) e o PAC o menos eficiente (50,76%). No resultados de BOTELHO (2019), observou-se que a melhor taxa de redução ocorreu na amostra tratada com o coagulante Tanfloc® SH (28%) e a menor redução também ocorreu no coagulante inorgânico PAC (10%).

Quanto a condutividade, ao compararmos os valores em relação ao efluente bruto, houve um aumento significativo para todos os coagulantes, sendo o maior aumento para o coagulante inorgânico PAC, e esse aumento está diretamente associado com a presença de íons em sua composição. Em relação aos coagulantes orgânicos esse fato ocorre devido a presença dos taninos que possuem uma elevada carga iônica (CASALI, 2011).

Apesar de ser um efluente de origem sucroalcooleira, o qual pode apresentar em sua composição volumes de vinhaça, pode-se observar baixas concentrações de fósforo e nitrogênio, conforme apresentado na tabela 5.

| Parâmetros | Bruto | PAC | Tanfloc SG | Tanfloc SH | Acquapol PLUS | Decreto SP 8468/76 (Rio classe 2) | Decreto SP 8468/76 (Rio classe 3) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Fósforo total ($mgPO_4.L^{-1}$)** | 1,40 | 1,02 | 1,06 | 1,67 | 1,17 | - | - |
| **Nitrogênio Kjeldahl ($mgNKT.L^{-1}$)** | 2,01 | 2,28 | 2,06 | 2,30 | 2,20 | - | - |
| **Nitrogênio Amoniacal ($mgNH_3.L^{-1}$)** | 0,50 | 0,50 | 0,30 | 0,40 | 0,25 | 0,5 | 0,5 |
| **Nitrato ($mgNO_3.L^{-1}$)** | 0,013 | 0,012 | 0,014 | 0,038 | 0,027 | 10,0 | 10,0 |
| **Nitrito ($mgNO_2.L^{-1}$)** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,0 | 1,0 |

**Tabela 5:** Formas de nitrogênio e fósforo total presentes no efluente antes e após os ensaios com os coagulantes e valores limites definidos por legislações específicas para lançamento de efluentes.

Pode-se observar que o efluente bruto apresentou maiores concentrações de nitrogênio kjeldahl e fósforo total, e que em todos os tratamentos com os coagulantes descritos não obteve uma redução significativa desses parâmetros.

Apesar do tratamento com os coagulantes não reduzirem a concentração das formas de nitrogênio e fósforo total de forma satisfatória, os mesmos estão abaixo dos valores permitidos pela legislação vigente para o lançamento de efluentes em corpos hídricos.

# 8. CONCLUSÃO

Em todos os casos, a aplicação dos coagulantes demonstraram que não houve grandes variações do valor de pH, ficando abaixo do mínimo estabelecido por lei.

Os coagulantes naturais a base de taninos e o coagulante inorgânico Policloreto de Alumínio empregados no tratamento de efluente sucroalcooleiro se mostraram eficientes na redução de turbidez e da Demanda Bioquímica de Oxigênio presentes, visto que atenderam a legislação ambiental vigente, no qual o sistema de tratamento deve ter uma eficiência mínima de 80%, quando os valores limites não forem alcançados.

A utilização desses coagulantes no tratamento de efluente sucroalcooleiro promoveu um aumento significativo do valor da condutividade do efluente tratado.

# REFERÊNCIAS

AL-ASHEH, Sameer; AIDAN, Ahmed. Operating Conditions of Coagulation-Flocculation Process for High Turbidity Ceramic Wastewater. **Journal of Water and Environmental Nanotechnology**, abr. 2017. v. 2, n. 2. Iranian Environmental Mutagen Society. p.80-87.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética**. Brasília, 2009. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/manual-de-conservacao-e-reuso-de-agua-na-agroindustria-sucroenergetica/>. Acesso em: 10 mai. 2019.

ANDRADE, Danilo Oliveira do Nascimento de; BRANCO, Natália Bruzamarello Caon; GONÇALVES, Fábio Peres. Tratamento de água com coagulante biodegradável: uma proposta de atividade experimental. **Química Nova na Escola**, v.38, n.4, Novembro, 2016. p. 375-382.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; MARTÍN- SÁNCHEZ, C. **Remediation of dye-polluted solutions by a new tannin-based coagulant**. v.50. Editora: Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011.

BOTELHO, André Campos Colares. **Coagulantes orgânicos no tratamento da manipueira de fecularia de mandioca**. 2019. 98p. Dissertação (mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, Apucarana, 2019.

CASALI, Dionísio Júnior. **Tratamento do efluente de uma recicladora de plásticos utilizando coagulante não metálico e compostagem.** 2011. 146 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Processos Agroindustrias, Engenharia de Processos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CARDOSO, Érica. **Uso de manipueira como biofertilizante no cultivo do milho: avaliação do efeito no solo, nas águas subterrâneas e na produtividade do milho**. 2005. 67 p. Dissertação (mestrado) – Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina, Criciúma, 2005.

CASTRO, Sebastião Beltrão de; ANDRADE, Samara Alvachian C. **Engenharia e tecnologia açucareira**. 2006. 249p. Anais. Departamento de Engenharia Química CTG – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2006.

CONAB, Companhia Nacional de abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar**. V.3. – SAFRA 2016/17. n.2, agosto, 2016. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/1205_04d83ccdfb137fb3d749f3eeec0469ae .>. Acesso em: 10 mai. 2019.

CONAB, Companhia Nacional de abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar**. V.5. – SAFRA 2018/19. n.4, abril, 2019. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/25631_78a68ec25e726ef2c565b0991a1e4a0d.>. Acesso em: 15 Set. 2019.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio ambiente. **Resolução Nº 430**, de 16 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 2011

COSTA, Carlos. Cana-de-açúcar tem queda de 3,6% e fecha safra 2017/18 em 633,26 milhões de toneladas. Disponível em: < http://revistasafra.com.br/cana-de-acucar-tem-queda-de-36-e-fecha-safra-201718-em-63326-milhoes-de-toneladas/ > Acesso em 18/07/2019.

CRUZ, Izaclaudia Santana da; ANDRADE, Isabel Cristina Barreto; SOUZA, Roberto Rodrigues de; FACCIOLI, Gregório Guirado. **Efluentes da indústria canavieira do estado de Sergipe**. 2016. 10p. Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas. Aracaju, Sergipe, 2016.

CRUZ, João Guilherme Heinz; MENEZES, Jean Carlo Salomé dos Santos; RUBIO, Jorge; SCHNEIDER, Ivo André Homrich. Aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação do efluente de uma lavanderia industrial. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005, Campo Grande, Brasil. **Associaçao Brasileira de Engenharia Sanitaria e Ambiental. Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade?** 2005. p.1-12.

DRINKING WATER QUALITY REGULATOR FOR SCOTLAND (DWQR). **6.3 Coagulation and flocculation.** 2015. Disponível em: <http://dwqr.scot/media/21774/pws-technical-manual-section-6-water-treatment-processes-63-coagulation-and-flocculation.pdf>. Acesso em: 12/04/2019.

GIRARDI, Franciélle. **Tratamento da vinhaça utilizando coagulantes naturais**. 2009. 116p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá. Paraná, 2009.

JÚNIOR, João Baptista Chieppe. **Tecnologia na Fabricação de Álcool**. 2012. 74p. Rede e-Tec Brasil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Goiás, Inhumas. 2012. p.41- 44.

KAWAMURA, Susumu. **Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment.** v.10. Journal American Water Works Association, v. 83, n. 10. 1991.

KLEIN, Vania. **Características agronômicas, químicas e bromatológicas de variedades de cana-de-açúcar para uso forrageiro**. 2010. 39p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiás, Jataí, 2010.

LEE, Chai Siah; ROBINSON, John; CHONG, Mei Fong. A review on application of flocculants in wastewater treatment**. Process Safety and Environmental Protection**. Nov. 2014. vol.92. Elsevier BV, p. 489–508.

LEE, Khai Ern; MORAD, Norhashimah; TENG, Tjoon Tow, POH, Beng Teik. Development, characterization and the application of hybrid materials in coagulation/flocculation of wastewater: A review. **Chemical Engineering Journal**. 2012. v. 203. Elsevier BV. 2012. p.370-386.

LIMA JÚNIOR, Raimundo Nonato; ABREU, Flávia Oliveira Monteiro da Silva. Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes para o tratamento de águas: Uma revisão sobre os benefícios e potencialidades. **Revista Virtual de Química**, v.10, maio-junho, 2018, p. 709-735.

MACHADO, Simone Silva. **Tecnologia da Fabricação de Açúcar**. 2012. 56p. Rede e-Tec Brasil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Goiás, Inhumas, 2012. p.30-34.

MAGALHÂES, Andollinni Carleone Miranda. **Fermentação alcoolica**. 2007. Disponivel em: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAApoQAE/unidade-vii-fermentacao-alcoolica-parte-i?part=4> Acesso em: 15/03/2019.

MANGRICH, Antônio S.; DOUMER, Marta Eliane; MALLMANN, Anderson S.; WOLF, Carlos Rodolfo. Química verde no tratamento de águas: uso de coagulante derivado de tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**, v. 6, julho, 2014, p. 2-15.

MATOS, Antônio. T. **Práticas de manejo e tratamento de resíduos agroindustriais**. 2004. 52p. Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais - Viçosa, 2004.

MATOS, E. A. **Emprego de tanino vegetal no tratamento de águas de abastecimento e residuárias**. 2005. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

MATSUI, Yoshihiko; MATSUSHITA, Taku; SAKUMA, Satoru; GOJO, Takahito; MAMIYA, Tepper; SUZUOKI, Hiroshi; INOUE Takanobu..**Virus inactivation in aluminum and polyaluminum coagulation**. 2003. vol. 37. Environmental Science Technology, 2003. p. 5175–5180.

MARQUES, Bruno Morato; ZIN, Guilherme Balseiro. **Desempenho ambiental de unidade industrial do setor sucroalcooleiro: Proposta de tratamento anaeróbio de digestão da vinhaça**. 2016. 154p. Projeto de formatura - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. p.51-53.

NOVACANA, **A produção de cana-de-açucar no Brasil e no mundo**. Disponivel em: < https://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo>. Acesso em: 15 Set. 2019.

NUNES, Elis Fernando. **Cana-de-Açúcar: A produção de etanol e seus benefícios**. 2017. 29p. Monografia (Curso Técnico) - Instituto de Educação, Ciências e Tecnologia de São Paulo - Campus Barretos. São Paulo. Barretos, 2017. p.10.

OLADOJA, Nurudeen Abiola. Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations. **Journal of Water Process Engineering**. 2015. v. 6, Elsevier BV. 2015. p.174-192.

PAOLIELLO, José Maria Morandini. **Aspectos Ambientais e Potencial Energético no Aproveitamento de Resíduos da Indústria Sucroalcooleira**. 2006. 200p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Bauru, 2006.

PELEGRINO, Eloá Cristina Figueirinha. **Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação**. 2011. 161p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, São Carlos, 2011. p 32 - 33.

PIACENTE, Fabricio José. **Agroindustria canavieira e o sistema de gestão ambiental : o caso das usinas localizadas nas bacias hidrograficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiai**. 2005. 177p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia, São Paulo, Campinas, 2005.

RODRIGUES, Elisângela Garcia Santos. **Caracterização e tratamento do efluente de lavagem em empresas de reciclagem de plásticos para fins de recursos**. 2013. 88p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

SÃO PAULO (estado). **Decreto n. 8468/76**, de 8 de setembro de 1976. Aprova o regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo: 1976.

SALVADEGO, Wanda Naves Cocco; LABURÚ, Carlos Eduardo. Uma análise do saber profissional do professor do ensino médio com a atividade experimental no ensino de química. **Química Nova na Escola**, n. 31, ago. 2009. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_3/11-PEQ-4108.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

SARITHA, Vara; SRINIVAS, N.; VUPPALA, N. V. Srikanth. Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. **Springer Nature**. 1 fev. 2015. Applied Water Science, v. 7, n. 1, p.451-460.

SEIXAS, Fernanda L; GIMENES, Marcelino L; MACHADO, Nádia R.C. Fernandes. **Tratamento da vinhaça por adsorção em carvão de bagaço de cana-de-açúcar**. 2016. 8p. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, Maringá, 2016.

SILVA, Telma Salesa Santana da. **Estudo da tratabilidade fisico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. 1999. 48p. Dissertação (Mestrado) - Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública, 1999.

TANAC. **Tanfloc: Manual Prático para Uso em Estações de Tratamento de Águas de Abastecimento**. 1ª Ed. Montenegro, 2003.

TWORT, Alan C.; RATNAYAKA, Don D.; BRANDT, Malcolm J. **Water Supply**. 2000. 669p. 5. ed. Burlington: Binnie Black&veatch, 2000.

WANG, Bing; SHUI, Yiyu; LIU, Puzhen. Comparison of flocs characteristics using before and after composite coagulants under different coagulation mechanisms. **Biochemical Engineering Journal**. 15 mai 2017. v. 121. Elsevier BV, p.107-117.

WARD, Richard J.S; MCCROHAN, Catherine R; WHITE, Keith N. Influence of aqueous aluminium on the immune system of the freshwater crayfish Pacifasticus leniusculus. **Aquatic Toxicology**, 1 mai. 2006. vol. 77. Elsevier BV, p.222–228.

YIN, Chun-yang. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**. set. 2010. v. 45, n. 9. Elsevier BV, p.1437-1444.

ZHANG, Zhongguo; LIU, Dan; HU, Dandan; LI, Duo; REN, Xiaojing; CHENG, Yanjun; LUAN Zhaokun. Effects of Slow-Mixing on the Coagulation Performance of Polyaluminum Chloride (PACl). **Chinese Journal of Chemical Engineering**. v. 21, n. 3, mar. 2013. Elsevier BV, p.318-323.

# ANEXOS

## Anexo A - Resolução CONAMA n° 430/2011

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

# RESOLUÇÃO Nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011

**Correlações:**

- Complementa e altera a Resolução nº 357/2005.

*Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.*

O **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA**, no uso das competências que lhe são conferidas pelo inciso VII do art. 8º da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, Anexo à Portaria nº 168, de 13 de junho de 2005, resolve:

Art. 1º Esta Resolução dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

Parágrafo único. O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto nesta Resolução quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

Art. 2º A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Art. 3º Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento, mediante fundamentação técnica:

I - acrescentar outras condições e padrões para o lançamento de efluentes, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições do corpo receptor; ou

II - exigir tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo corpo receptor.

## CAPÍTULO I

## DAS DEFINIÇÕES

Art. 4º Para efeito desta Resolução adotam-se as seguintes definições, em complementação àquelas contidas no art. 2º da Resolução CONAMA nº 357, de 2005:

I - Capacidade de suporte do corpo receptor: valor máximo de determinado poluente que o corpo hídrico pode receber, sem comprometer a qualidade da água e seus usos determinados pela classe de enquadramento;

II - Concentração de Efeito Não Observado-CENO: maior concentração do efluente que não causa efeito deletério estatisticamente significativo na sobrevivência e reprodução dos organismos, em um determinado tempo de exposição, nas condições de ensaio;

III - Concentração do Efluente no Corpo Receptor-CECR, expressa em porcentagem:

a) para corpos receptores confinados por calhas (rio, córregos, etc):

1. CECR = [(vazão do efluente) / (vazão do efluente + vazão de referência do corpo receptor)] x 100.

b) para áreas marinhas, estuarinas e lagos a CECR é estabelecida com base em estudo da dispersão física do efluente no corpo hídrico receptor, sendo a CECR limitada pela zona de mistura definida pelo órgão ambiental;

IV - Concentração Letal Mediana-CL50 ou Concentração Efetiva Mediana-CE50: é a concentração do efluente que causa efeito agudo (letalidade ou imobilidade) a 50% dos organismos, em determinado período de exposição, nas condições de ensaio;

V - Efluente: é o termo usado para caracterizar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos;

VI - Emissário submarino: tubulação provida de sistemas difusores destinada ao lançamento de efluentes no mar, na faixa compreendida entre a linha de base e o limite do mar territorial brasileiro;

VII - Esgotos sanitários: denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais e efluentes não domésticos;

VIII - Fator de Toxicidade-FT: número adimensional que expressa a menor diluição do efluente que não causa efeito deletério agudo aos organismos, num determinado período de exposição, nas condições de ensaio;

IX - Lançamento direto: quando ocorre a condução direta do efluente ao corpo receptor;

X - Lançamento indireto: quando ocorre a condução do efluente, submetido ou não a tratamento, por meio de rede coletora que recebe outras contribuições antes de atingir o corpo receptor;

XI - Nível trófico: posição de um organismo na cadeia trófica;

XII - Parâmetro de qualidade do efluente: substâncias ou outros indicadores representativos dos contaminantes toxicologicamente e ambientalmente relevantes do efluente;

XIII - Testes de ecotoxicidade: métodos utilizados para detectar e avaliar a capacidade de um agente tóxico provocar efeito nocivo, utilizando bioindicadores dos grandes grupos de uma cadeia ecológica; e

XIV - Zona de mistura: região do corpo receptor, estimada com base em modelos teóricos aceitos pelo órgão ambiental competente, que se estende do ponto de lançamento do efluente, e delimitada pela superfície em que é atingido o equilíbrio de mistura entre os parâmetros físicos e químicos, bem como o equilíbrio biológico do efluente e os do corpo receptor, sendo específica para cada parâmetro.

## CAPÍTULO II

## DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES

### Seção I

### Das Disposições Gerais

Art. 5º Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento.

§ 1º As metas obrigatórias para corpos receptores serão estabelecidas por parâmetros específicos.

§ 2º Para os parâmetros não incluídos nas metas obrigatórias e na ausência de metas intermediárias progressivas, os padrões de qualidade a serem obedecidos no corpo receptor são os que constam na classe na qual o corpo receptor estiver enquadrado.

Art. 6º Excepcionalmente e em caráter temporário, o órgão ambiental competente poderá, mediante análise técnica fundamentada, autorizar o lançamento de efluentes em desacordo com as condições e padrões estabelecidos nesta Resolução, desde que observados os seguintes requisitos:

I - comprovação de relevante interesse público, devidamente motivado;

II - atendimento ao enquadramento do corpo receptor e às metas intermediárias e finais, progressivas e obrigatórias;

III - realização de estudo ambiental tecnicamente adequado, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento;

IV - estabelecimento de tratamento e exigências para este lançamento;

V - fixação de prazo máximo para o lançamento, prorrogável a critério do órgão ambiental competente, enquanto durar a situação que justificou a excepcionalidade aos limites estabelecidos nesta norma; e

VI - estabelecimento de medidas que visem neutralizar os eventuais efeitos do lançamento excepcional.

Art. 7º O órgão ambiental competente deverá, por meio de norma específica ou no licenciamento da atividade ou empreendimento, estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos, listadas ou não no art. 16 desta Resolução, de modo a não comprometer as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, estabelecidas para enquadramento do corpo receptor.

§ 1º O órgão ambiental competente poderá exigir, nos processos de licenciamento ou de sua renovação, a apresentação de estudo de capacidade de suporte do corpo receptor.

§ 2º O estudo de capacidade de suporte deve considerar, no mínimo, a diferença entre os padrões estabelecidos pela classe e as concentrações existentes no trecho desde a montante, estimando a concentração após a zona de mistura.

§ 3º O empreendedor, no processo de licenciamento, informará ao órgão ambiental as substâncias que poderão estar contidas no efluente gerado, entre aquelas listadas ou não na Resolução CONAMA nº 357, de 2005 para padrões de qualidade de água, sob pena de suspensão ou cancelamento da licença expedida.

§ 4º O disposto no § 3º não se aplica aos casos em que o empreendedor comprove que não dispunha de condições de saber da existência de uma ou mais substâncias nos efluentes gerados pelos empreendimentos ou atividades.

Art. 8º É vedado, nos efluentes, o lançamento dos Poluentes Orgânicos Persistentes-POPs, observada a legislação em vigor.

Parágrafo único. Nos processos nos quais possam ocorrer a formação de dioxinas e furanos deverá ser utilizada a tecnologia adequada para a sua redução, até a completa eliminação.

Art. 9º No controle das condições de lançamento, é vedada, para fins de diluição antes do seu lançamento, a mistura de efluentes com águas de melhor qualidade, tais como as águas de abastecimento, do mar e de sistemas abertos de refrigeração sem recirculação.

Art. 10. Na hipótese de fonte de poluição geradora de diferentes efluentes ou lançamentos individualizados, os limites constantes desta Resolução aplicar-se-ão a cada um deles ou ao conjunto após a mistura, a critério do órgão ambiental competente.

Art. 11. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.

Art. 12. O lançamento de efluentes em corpos de água, com exceção daqueles enquadrados na classe especial, não poderá exceder as condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência ou volume disponível, além de atender outras exigências aplicáveis.

Parágrafo único. Nos corpos de água em processo de recuperação, o lançamento de efluentes observará as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final.

Art. 13. Na zona de mistura serão admitidas concentrações de substâncias em desacordo com os padrões de qualidade estabelecidos para o corpo receptor, desde que não comprometam os usos previstos para o mesmo.

Parágrafo único. A extensão e as concentrações de substâncias na zona de mistura deverão ser objeto de estudo, quando determinado pelo órgão ambiental competente, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento.

Art. 14. Sem prejuízo do disposto no inciso I do parágrafo único do art. 3º desta Resolução, o órgão ambiental competente poderá, quando a vazão do corpo receptor estiver abaixo da vazão de referência, estabelecer restrições e medidas adicionais, de caráter excepcional e temporário, aos lançamentos de efluentes que possam, dentre outras consequências:

I - acarretar efeitos tóxicos agudos ou crônicos em organismos aquáticos; ou

II - inviabilizar o abastecimento das populações.

Art. 15. Para o lançamento de efluentes tratados em leito seco de corpos receptores intermitentes, o órgão ambiental competente poderá definir condições especiais, ouvido o órgão gestor de recursos hídricos.

**Seção II**

**Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes**

Art. 16. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

I - condições de lançamento de efluentes:

a) pH entre 5 a 9;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

e) óleos e graxas:

1. óleos minerais: até 20 mg/L;

2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

II - Padrões de lançamento de efluentes:

| TABELA I | |
|---|---|
| Parâmetros inorgânicos | Valores máximos |
| Arsênio total | 0,5 mg/L As |
| Bário total | 5,0 mg/L Ba |
| Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas) | 5,0 mg/L B |
| Cádmio total | 0,2 mg/L Cd |
| Chumbo total | 0,5 mg/L Pb |
| Cianeto total | 1,0 mg/L CN |
| Cianeto livre (destilável por ácidos fracos) | 0,2 mg/L CN |
| Cobre dissolvido | 1,0 mg/L Cu |
| Cromo hexavalente | 0,1 mg/L Cr+6 |
| Cromo trivalente | 1,0 mg/L Cr+3 |
| Estanho total | 4,0 mg/L Sn |
| Ferro dissolvido | 15,0 mg/L Fe |

| | |
|---|---|
| Fluoreto total | 10,0 mg/L F |
| Manganês dissolvido | 1,0 mg/L Mn |
| Mercúrio total | 0,01 mg/L Hg |
| Níquel total | 2,0 mg/L Ni |
| Nitrogênio amoniacal total | 20,0 mg/L N |
| Prata total | 0,1 mg/L Ag |
| Selênio total | 0,30 mg/L Se |
| Sulfeto | 1,0 mg/L S |
| Zinco total | 5,0 mg/L Zn |
| Parâmetros Orgânicos | Valores máximos |
| Benzeno | 1,2 mg/L |
| Clorofórmio | 1,0 mg/L |
| Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans) | 1,0 mg/L |
| Estireno | 0,07 mg/L |
| Etilbenzeno | 0,84 mg/L |
| fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina) | 0,5 mg/L C6H5OH |
| Tetracloreto de carbono | 1,0 mg/L |
| Tricloroeteno | 1,0 mg/L |
| Tolueno | 1,2 mg/L |
| Xileno | 1,6 mg/L |

§ 1º Os efluentes oriundos de sistemas de disposição final de resíduos sólidos de qualquer origem devem atender às condições e padrões definidos neste artigo.

§ 2º Os efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários devem atender às condições e padrões específicos definidos na Seção III desta Resolução.

§ 3º Os efluentes oriundos de serviços de saúde estarão sujeitos às exigências estabelecidas na Seção III desta Resolução, desde que atendidas as normas sanitárias específicas vigentes, podendo:

I - ser lançados em rede coletora de esgotos sanitários conectada a estação de tratamento, atendendo às normas e diretrizes da operadora do sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitários; e

II - ser lançados diretamente após tratamento especial.

Art. 17. O órgão ambiental competente poderá definir padrões específicos para o parâmetro fósforo no caso de lançamento de efluentes em corpos receptores com registro histórico de floração de cianobactérias, em trechos onde ocorra a captação para abastecimento público.

Art. 18. O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

§ 1º Os critérios de ecotoxicidade previstos no *caput* deste artigo devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos aceitos pelo órgão ambiental, realizados no efluente, utilizando organismos aquáticos de pelo menos dois níveis tróficos diferentes.

§ 2º Cabe ao órgão ambiental competente a especificação das vazões de referência do efluente e do corpo receptor a serem consideradas no cálculo da Concentração do Efluente no Corpo Receptor-CECR, além dos organismos e dos métodos de ensaio a serem utilizados, bem como a frequência de eventual monitoramento.

§ 3º Na ausência de critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental para

avaliar o efeito tóxico do efluente no corpo receptor, as seguintes diretrizes devem ser obedecidas:

I - para efluentes lançados em corpos receptores de água doce Classes 1 e 2, e águas salinas e salobras Classe 1, a Concentração do Efluente no Corpo Receptor-CECR deve ser menor ou igual à Concentração de Efeito Não Observado-CENO de pelo menos dois níveis tróficos, ou seja:

a) CECR deve ser menor ou igual a CENO quando for realizado teste de ecotoxicidade para medir o efeito tóxico crônico; ou

b) CECR deve ser menor ou igual ao valor da Concentração Letal Mediana (CL50) dividida por 10; ou menor ou igual a 30 dividido pelo Fator de Toxicidade (FT) quando for realizado teste de ecotoxicidade para medir o efeito tóxico agudo;

II - para efluentes lançados em corpos receptores de água doce Classe 3, e águas salinas e salobras Classe 2, a Concentração do Efluente no Corpo Receptor-CECR deve ser menor ou igual à concentração que não causa efeito agudo aos organismos aquáticos de pelo menos dois níveis tróficos, ou seja:

a) CECR deve ser menor ou igual ao valor da Concentração Letal Mediana-CL50 dividida por 3 ou menor ou igual a 100 dividido pelo Fator de Toxicidade-FT, quando for realizado teste de ecotoxicidade aguda.

§ 4º A critério do órgão ambiental, com base na avaliação dos resultados de série histórica, poderá ser reduzido o número de níveis tróficos utilizados para os testes de ecotoxicidade, para fins de monitoramento.

§ 5º Nos corpos de água em que as condições e padrões de qualidade previstos na Resolução nº 357, de 2005, não incluam restrições de toxicidade a organismos aquáticos não se aplicam os parágrafos anteriores.

Art. 19. O órgão ambiental competente deverá determinar quais empreendimentos e atividades deverão realizar os ensaios de ecotoxicidade, considerando as características dos efluentes gerados e do corpo receptor.

Art. 20. O lançamento de efluentes efetuado por meio de emissários submarinos deve atender, após tratamento, aos padrões e condições de lançamento previstas nesta Resolução, aos padrões da classe do corpo receptor, após o limite da zona de mistura, e ao padrão de balneabilidade, de acordo com normas e legislação vigentes.

Parágrafo único. A disposição de efluentes por emissário submarino em desacordo com as condições e padrões de lançamento estabelecidos nesta Resolução poderá ser autorizada pelo órgão ambiental competente, conforme previsto nos incisos III e IV do art. 6º, sendo que o estudo ambiental definido no inciso III deverá conter no mínimo:

I - As condições e padrões específicos na entrada do emissário;

II - O estudo de dispersão na zona de mistura, com dois cenários:

a) primeiro cenário: atendimento aos valores preconizados na Tabela I desta Resolução;

b) segundo cenário: condições e padrões propostos pelo empreendedor; e

III - Programa de monitoramento ambiental.

**Seção III**

**Das Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários**

Art. 21. Para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverão ser obedecidas as seguintes condições e padrões específicos:

I - Condições de lançamento de efluentes:

a) pH entre 5 e 9;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo

que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

e) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e

f) ausência de materiais flutuantes.

§ 1º As condições e padrões de lançamento relacionados na Seção II, art. 16, incisos I e II desta Resolução, poderão ser aplicáveis aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários, a critério do órgão ambiental competente, em função das características locais, não sendo exigível o padrão de nitrogênio amoniacal total.

§ 2º No caso de sistemas de tratamento de esgotos sanitários que recebam lixiviados de aterros sanitários, o órgão ambiental competente deverá indicar quais os parâmetros da Tabela I do art. 16, inciso II desta Resolução que deverão ser atendidos e monitorados, não sendo exigível o padrão de nitrogênio amoniacal total.

§ 3º Para a determinação da eficiência de remoção de carga poluidora em termos de DBO5,20 para sistemas de tratamento com lagoas de estabilização, a amostra do efluente deverá ser filtrada.

Art. 22. O lançamento de esgotos sanitários por meio de emissários submarinos deve atender aos padrões da classe do corpo receptor, após o limite da zona de mistura e ao padrão de balneabilidade, de acordo com as normas e legislação vigentes.

Parágrafo único. Este lançamento deve ser precedido de tratamento que garanta o atendimento das seguintes condições e padrões específicos, sem prejuízo de outras exigências cabíveis:

I - pH entre 5 e 9;

II - temperatura: inferior a 40ºC, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3ºC no limite da zona de mistura;

III - após desarenação;

IV - sólidos grosseiros e materiais flutuantes: virtualmente ausentes; e

V - sólidos em suspensão totais: eficiência mínima de remoção de 20%, após desarenação.

Art. 23. Os efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários poderão ser objeto de teste de ecotoxicidade no caso de interferência de efluentes com características potencialmente tóxicas ao corpo receptor, a critério do órgão ambiental competente.

§ 1º Os testes de ecotoxicidade em efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários têm como objetivo subsidiar ações de gestão da bacia contribuinte aos referidos sistemas, indicando a necessidade de controle nas fontes geradoras de efluentes com características potencialmente tóxicas ao corpo receptor.

§ 2º As ações de gestão serão compartilhadas entre as empresas de saneamento, as fontes geradoras e o órgão ambiental competente, a partir da avaliação criteriosa dos resultados obtidos no monitoramento.

## CAPÍTULO III

## DIRETRIZES PARA GESTÃO DE EFLUENTES

Art. 24. Os responsáveis pelas fontes poluidoras dos recursos hídricos deverão realizar o automonitoramento para controle e acompanhamento periódico dos efluentes lançados nos corpos receptores, com base em amostragem representativa dos mesmos.

§ 1º O órgão ambiental competente poderá estabelecer critérios e procedimentos para a execução e averiguação do automonitoramento de efluentes e avaliação da qualidade do corpo receptor.

§ 2º Para fontes de baixo potencial poluidor, assim definidas pelo órgão ambiental competente, poderá ser dispensado o automonitoramento, mediante fundamentação técnica.

Art. 25. As coletas de amostras e as análises de efluentes líquidos e em corpos hídricos devem ser realizadas de acordo com as normas específicas, sob responsabilidade de profissional

legalmente habilitado.

Art. 26. Os ensaios deverão ser realizados por laboratórios acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial-INMETRO ou por outro organismo signatário do mesmo acordo de cooperação mútua do qual o INMETRO faça parte ou em laboratórios aceitos pelo órgão ambiental competente.

§ 1º Os laboratórios deverão ter sistema de controle de qualidade analítica implementado.

§ 2º Os laudos analíticos referentes a ensaios laboratoriais de efluentes e de corpos receptores devem ser assinados por profissional legalmente habilitado.

Art. 27. As fontes potencial ou efetivamente poluidoras dos recursos hídricos deverão buscar práticas de gestão de efluentes com vistas ao uso eficiente da água, à aplicação de técnicas para redução da geração e melhoria da qualidade de efluentes gerados e, sempre que possível e adequado, proceder à reutilização.

Parágrafo único. No caso de efluentes cuja vazão original for reduzida pela prática de reuso, ocasionando aumento de concentração de substâncias presentes no efluente para valores em desacordo com as condições e padrões de lançamento estabelecidos na Tabela I do art. 16, desta Resolução, o órgão ambiental competente poderá estabelecer condições e padrões específicos de lançamento, conforme previsto nos incisos II, III e IV do art. 6º, desta Resolução.

Art. 28. O responsável por fonte potencial ou efetivamente poluidora dos recursos hídricos deve apresentar ao órgão ambiental competente, até o dia 31 de março de cada ano, Declaração de Carga Poluidora, referente ao ano anterior.

§ 1º A Declaração referida no *caput* deste artigo conterá, entre outros dados, a caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes, baseada em amostragem representativa dos mesmos.

§ 2º O órgão ambiental competente poderá definir critérios e informações adicionais para a complementação e apresentação da declaração mencionada no caput deste artigo, inclusive dispensando-a, se for o caso, para as fontes de baixo potencial poluidor.

§ 3º Os relatórios, laudos e estudos que fundamentam a Declaração de Carga Poluidora deverão ser mantidos em arquivo no empreendimento ou atividade, bem como uma cópia impressa da declaração anual subscrita pelo administrador principal e pelo responsável legalmente habilitado, acompanhada da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica, os quais deverão ficar à disposição das autoridades de fiscalização ambiental.

## CAPÍTULO IV

## DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 29. Aos empreendimentos e demais atividades poluidoras que, na data da publicação desta Resolução, contarem com licença ambiental expedida, poderá ser concedido, a critério do órgão ambiental competente, prazo de até três anos, contados a partir da publicação da presente Resolução, para se adequarem às condições e padrões novos ou mais rigorosos estabelecidos nesta norma.

§ 1º O empreendedor apresentará ao órgão ambiental competente o cronograma das medidas necessárias ao cumprimento do disposto no *caput* deste artigo.

§ 2º O prazo previsto no *caput* deste artigo poderá ser prorrogado por igual período, desde que tecnicamente motivado.

§ 3º As instalações de tratamento de efluentes existentes deverão ser mantidas em operação com a capacidade, condições de funcionamento e demais características para as quais foram aprovadas, até que se cumpram às disposições desta Resolução.

Art. 30. O não cumprimento do disposto nesta Resolução sujeitará os infratores, entre outras, às sanções previstas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e em seu regulamento.

Art. 31. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 32. Revogam-se o inciso XXXVIII do art. 2º, os arts. 24 a 37 e os arts. 39, 43, 44 e 46, da Resolução CONAMA nº 357, de 2005.

**IZABELLA TEIXEIRA**
**Presidente do Conselho**

**ESSE TEXTO NÃO SUBSTITUI O PUBLICADO**
**NO DOU N° 92, EM 16/05/2011, pág. 89**